

**Vorlesungsinhalte**  
**AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.**

---

<b>1.</b>	<b>Einleitung / Grundlagen</b>	
1.1	Vergleichbarkeit von Messergebnissen	2
1.1.1	SI-Einheitensystem	2
1.1.2	Basiseinheiten (Grundeinheiten) des SI	3
1.1.3	Definitionen der Basiseinheiten	3
1.1.4	Abgeleitete SI-Einheiten	5
1.1.5	Dezimale Vielfache und Teile von SI-Einheiten	5
1.1.6	SI-fremde Einheiten	6
1.1.7	Gesetzliche Einheiten	6
1.1.8	Einheiten der wichtigsten physikalischen Größenarten	7
1.2	Fehlerrechnung	8
1.2.1	Wechselwirkung zwischen Messobjekt und Messgerät	8
1.2.3	Systematische Fehler	10
1.2.4	Garantiefehlergrenze / Klassengenauigkeit	11
1.2.5	Gerätezeichnungen	13
1.2.6	Schaltungsfehler	15
1.2.7	Zufällige Fehler	17
1.2.8	Fehlerfortpflanzung	20
<b>1.2</b>	<b>Analoge und digitale Messtechnik</b>	<b>2</b>
1.2.1	Digitalmessgeräte	2
1.2.2	Pro und Contra	3
1.2.3	Messfehler bei Digitalmessgeräten	4
1.2.4	Analogmessgeräte	6
1.2.4.1	Dreheisenmesswerk	6
1.2.4.2	Drehspulmesswerk	8
1.2.4.3	Kreuzspulmesswerk (Quotientenmesswerk)	10
1.2.4.4	Elektrodynamisches Messwerk (eisengeschlossen)	13
1.2.4.5	Vibrations-Messwerk	14
1.2.5	Sinnbilder zur Gerätezeichnung	15
1.2.6	Analog-Digital-/ Digital-Analog-Wandlung	16
1.2.6.1	Digital-Analog-Wandler	16
1.2.6.2	Analog-Digital-Wandler	18
1.2.6.3	Abtastung (Sampling) von Analogsignalen	18
1.2.6.4	Signalquantisierung	20
1.2.6.5	Verfahren zur Analog-Digital-Wandlung	22
1.2.6.6	Fehler bei der Datenumsetzung	23
<b>1.3</b>	<b>Schwerpunkte und Begriffe der MSR-Technik</b>	<b>2</b>
1.3.1	Steuern, Regeln, Leiten	2
1.3.1.1	Steuern	2
1.3.1.2	Regeln	4
1.3.1.3	Leiten	6
<b>1.4</b>	<b>Sensorik</b>	<b>2</b>
1.4.1	Messketten	2
1.4.2	Einheitssignale	3
1.4.3	Bürdenwiderstand	4
1.4.4	Funktion- und Wirkungsweise eines Messumformers	5
1.4.5	Messumformertypen, Einsatzgebiete (engl. Transmitter)	8
1.4.6	Stichworte zu Betriebsbedingungen und Forderungen an die Messstelle	10
1.4.7	Medieneinfluss auf den Prozessanschluss	13

## **Vorlesungsinhalte** **AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.**

---

1.4.8	Durchflussmessumformer	14
1.4.9	Füllstandsmessumformer (Niveaumessumformer)	15
1.4.10	Temperaturmessumformer	16
1.4.11	Analysenmessumformer	17
<b>1.5</b>	<b>Taxonomie der Sensorik</b>	<b>2</b>
1.5.1	EMSR-Stellen	2
1.5.2	R&I-Fließbilder	8
<b>2.</b>	<b>Temperatursensoren</b>	<b>3</b>
2.1	Messbereich der verschiedenen Thermometerarten	3
2.1.1	Einführung	4
2.1.2	Besondere Temperaturmessverfahren	5
2.1.3	Übersicht über die gängigen Temperaturmessgeräte	6
2.2	Mechanische Temperaturmessgeräte	7
2.2.1	Allgemeines	7
2.2.2	Bimetall-Thermometer	7
2.2.3	Tensions-Thermometer	9
2.2.4	Gasdruck-Thermometer, mit oder ohne Fernleitung	10
2.2.5	Maschinen-Glasthermometer	12
2.2.6	Stabausdehnungsthermometer	14
2.3	Elektrische Berührungsthermometer	15
2.3.1	Widerstandsthermometer	15
2.3.1.1	Der Messeffekt	15
2.3.1.2	Wirkungsweise	15
2.3.1.3	Kaltleiter (PTC)	17
2.3.1.4	Heissleiter (NTC)	17
2.3.1.5	Aufbau von Widerstandsthermometern	19
2.3.1.6	Schutzhülsen für Wth und Thermoelemente	21
2.3.1.7	Der Messeinsatz	23
2.3.1.8	Anschlussbelegungen eines Wth	25
2.3.2	Thermoelement	25
2.3.2.1	Der Seebeck-Effekt	25
2.3.2.2	Polarität der Thermospannung	26
2.3.2.3	Der Peltier-Effekt	26
2.3.2.4	Genormte Thermoelemente	27
2.3.2.5	Thermoelement-Ausführungen	29
2.3.2.6	Ausgleichsleitung und Korrekturdose	30
2.3.3	Richtiger Einbau von Temperaturfühlern	32
2.3.3.1	Röntgenaufnahmen von Widerstandsthermometern in Schutzrohren	33
2.3.4	Temperaturtransmitter (Kopftransmitter)	35
2.3.5	Messschaltungen	37
2.3.5.1	Kreuzspulmesswerk (Quotientenmesswerk)	37
2.3.6	Unterschiede zwischen Thermoelement und Widerstandsthermometer	40
2.4	Berührungslose Temperaturmessung	41
2.4.1	Infrarot-Pyrometer	41
2.4.1.1	Emissionsgrad	42
2.4.1.2	Distanzverhältnis	43
2.4.2	Gesamt- oder Teilstrahlungs-pyrometer	44
2.4.3	Teilstrahlungs-Pyrometer	45
2.4.4	Verhältnis bzw. Farbpyrometer	46
2.4.5	Ausführungsformen für Infrarot-Pyrometer	48

## Vorlesungsinhalte AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.

---

2.4.6	Infrarot-Thermometer	50
2.5	Andere Temperaturmessverfahren	51
2.5.1	Folienthermometer	51
2.5.2	Thermofarbe und Temperaturklebepunkte/-messstreifen	52
2.5.3	Seigerkegel	53
<b>3.</b>	<b>Drucksensoren</b>	<b>3</b>
3.1	Grundlagen	3
3.1.1	Allgemeines	3
3.1.2	Maßeinheiten	3
3.1.3	Überdruck und Unterdruck	4
3.1.4	Absolut-, Relativ- und Differenzdruck	5
3.2	Druckeinheiten	7
3.3	U-Rohrmanometer	9
3.4	Schrägrohrmanometer	10
3.5	Überdruckmessgeräte mit elastischem Messglied	11
3.6	Manometertypen	12
3.6.1	Rohrfederanometer (Bourdonfeder)	12
3.6.2	Kapselfederanometer	15
3.6.3	Plattenfederanometer	16
3.6.3.1	Beispiel für eine Absolutdruckmessung	18
3.6.3.2	Beispiel einer Differenzdruckmessung	19
3.6.4	Druckmittler Anwendung - Wirkungsweise - Bauformen	20
3.6.4.1	Einsatzmöglichkeiten	21
3.6.4.2	Beispiele	21
3.6.4.3	Bauformen	24
3.6.5	Messumformer mit vorgelagerter Messzelle (Tubus)	26
3.6.6	Messumformer in Flanschführung	26
3.7	Differenz-Druckmessumformer	27
3.8	Druckmessumformer	29
3.8.1	Differentialkondensator	30
3.8.1.1	Relativdruckmesszelle	31
3.8.1.2	Absolutdruckmesszelle	31
3.9	Sonderbauformen, alte Druckmessgeräte	32
3.9.1	Ringwaage (Fa. Rixen)	32
3.9.2	Tauchsichermesswerk	34
3.9.3	Tauchglockenmesswerk	35
3.9.4	Quecksilber-Schwimmermanometer (Fa. Siemens)	37
3.9.5	Barton-Messzelle (Fa. Hartmann & Braun)	38
3.10	Druck- (Kraft-) Messung mittels Dehnmessstreifen	40
3.10.1	Grundlagen Dehnmessstreifen	40
3.10.2	Aktive und passive Anbringung von DMS	41
3.10.3	Statische Fehler	42
3.10.4	Einflussgrößen	42
3.10.5	Anwendungsmöglichkeiten	45
3.10.6	Messschaltung	48
3.10.7	DMS-Materialien	48
<b>4.</b>	<b>Durchflusssensoren</b>	<b>3</b>
4.1	Durchflussmessung und Mengenzählung	3
4.2	Grundlagen	4
4.2.1	Laminare und turbulente Strömung	4

## Vorlesungsinhalte AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.

---

4.2.3	Reynoldszahl und Viskosität	6
4.2.3.1	Die Reynoldszahl	6
4.2.3.2	Die Viskosität	6
4.2.4	Beruhigungsstrecken	8
4.2.5	Kontinuitätsgleichung	9
4.2.6	Beziehung zwischen Nennweite, Durchfluss und Strömungsgeschwindigkeit	10
4.2.7	Bleibender Druckverlust	11
4.2.8	Stichworte zu Betriebsbedingungen und Forderungen an die Messstelle	13
4.2.9	Auswahlmatrix für Durchflussmessgeräte	16
4.2.10	Strömungsgleichrichter	17
4.3	Durchflussmessgeräte	18
4.3.1	Wirkdruckmessverfahren	18
4.3.1.1	Durchflussgleichung	19
4.3.1.2	Vergleich von genormten Drosselorganen	21
4.3.1.3	Messblenden-Typen:	22
4.3.1.4	Anordnung von Durchflussmessern nach dem Wirkdruckverfahren	23
4.3.1.5	Venturirohr	24
4.3.1.6	Staudrucksonde	26
4.3.2	Schwebekörperdurchflussmesser (SKDM)	28
4.3.2.1	Schwebekörperformen	28
4.3.2.2	Schwebekörperdurchflussmessumformer	30
4.3.3	Magnetisch induktiver Durchflussmesser (MID)	31
4.3.4	Ultraschalldurchflussmesser	33
4.3.5	Wirbeldurchflussmessgeräte	35
4.3.6	Massedurchflussmesser, Coriolisprinzip	37
4.3.7	Thermische Durchflussmesser	40
4.4	Volumetrische Durchfluss-/ Mengenmessungen	41
4.4.1	Turbinenrad-Zähler	42
4.4.2	Flügelradzähler	44
4.4.3	Ovalradzähler	45
4.4.4	Ringkolbenzähler	47
4.4.5	Drehkolbenzähler	49
4.4.6	Treibschieber-Zähler	50
4.4.7	Hubkolben-Zähler	51
4.4.8	Trommel-Zähler	52
4.5	Zusammenfassung der Vor- und Nachteile	53
4.5.1	Ovalradzähler, Ringkolbenzähler	53
4.5.2	Drehkolbenzähler	53
4.5.3	Turbinenzähler	54
4.5.4	Wirbeldurchflussmesser	55
4.5.5	Drall-Durchflussmesser	55
4.5.6	Wirkdruck-Messverfahren	56
4.5.7	Schwebekörper-Durchflussmesser	57
4.5.8	Magnetisch-induktive-Durchflussmesser	57
4.5.9	Ultraschall-Durchflussmesser	58
4.5.10	Masse-Durchflussmesser nach dem Coriolis-Prinzip	59
4.5.11	Masse-Durchflussmesser, thermisch	60
<b>5.</b>	<b>Füllstandssensoren</b>	<b>2</b>
5.1	Kontinuierliche Füllstandmessung, Übersicht der Messprinzipien	3
5.1.1	Peilstab, Pegelmessung	5
5.1.2	Pegeluhr	6

## Vorlesungsinhalte AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.

---

5.1.3	Niveau-Schauglas	7
5.1.4	Bypass-Magnetklappenanzeiger	8
5.1.5	Schwimmerniveaumessung	10
5.1.6	Verdränger-Niveaumessung	11
5.1.7	Niveaumessung nach dem Einperlverfahren	15
5.1.7.1	Offener Behälter	16
5.1.7.2	Geschlossener Behälter	16
5.1.8	Kapazitive Niveaumessung	17
5.1.9	Hydrostatische Niveaumessung	19
5.1.10	Radioaktive Niveaumessung	22
5.1.10.1	Strahler- und Detektoranordnungen	25
5.1.10.2	Anwendungsgebiete radiometrischer Messanordnungen	26
5.1.11	Detektoren	30
5.1.12	Lotsystem-Niveaumessung (Silopilot T, Fa. Endress + Hauser)	32
5.1.13	Ultraschall- und Radarniveaumessung	34
5.1.13.1	Ultraschallniveaumessung	36
5.1.13.2	Radarniveaumessung 1)	39
5.1.14	Gravimetrische Niveaumessung (DMS-Siloverwiegung ,Fa. Rembe)	48
5.1.15	Gravimetrische Niveaumessung (Wägezellen /Kraftmesszellen)	49
5.2	Grenzstandmessung, Übersicht der Messprinzipien	51
5.2.1	Grenzstandmessung, Drehflügelsonde	53
5.2.2	Grenzstandmessung, Schwinggabelsonde	55
<b>6</b>	<b>Abstands-, Weg- und Winkelmessverfahren</b>	<b>2</b>
6.1	Widerstandslängenfühler	5
6.2	Widerstandswinkelfühler	7
6.3	Inkrementalgeber	10
6.4	Ultraschallsensor	13
6.5	Lichtschranken und Lichttaster	16
6.5.1	Der Reflexions-Lichttaster	16
6.5.2	Der Reflexions-Lichtschranke	17
6.5.3	Die Einweg-/Durchlicht-Schranke	18
6.5.4	Störeinflüsse bei optoelektronischen Sensoren	19
6.6	Initiatoren	22
6.6.1	Auswahlkriterien für Näherungsinitiatoren (Fa. Pepperl + Fuchs)	24
6.6.2	Induktive Initiatoren	24
6.6.3	Kapazitive Initiatoren	36
6.6.3.4	Gängige Applikationen für kapazitive Sensoren sind:	39
6.6.3.5	Übliche Einsatzbereiche für kapazitive Sensoren sind:	39
6.7	Magnetfeldsensoren	45
6.7.1	Hallsensoren	45
6.8	Magnetostriktiven Wegmesssysteme	48
6.9	Wirbelstromsensoren	54
6.10	Magnetbandsensoren	56
6.11	Induktive Sensoren	59
6.12	Seilzugsensoren	61
<b>7.</b>	<b>Analysenmessverfahren</b>	<b>2</b>
7.1	Feuchtemessung	2
7.1.1	Feuchtemessverfahren	4
7.1.2	LiCl-Feuchtefühler	5
7.1.3	Quarzhygrometer	6

## Vorlesungsinhalte AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.

---

7.1.4	Kapazitiver Feuchtefühler	6
7.2	pH-Wertmessung	7
7.2.2	Die Elektrode als Spannungsquelle	8
7.2.3	Temperatureinfluss	9
7.2.4	Pufferlösung	10
7.3	Messgasaufbereitung	11
7.4	Flammenionisationsdetektor	12
7.5	Gaschromatograph	14
7.6	Gaswarngeräte	19
7.6.1	Tragbare Gaswarngeräte	19
7.6.2	Stationäre Gaswarngeräte	21
7.6.3	Sensortypen für Gaswarngeräte	22
7.6.3.1	Das elektrochemische Sensorprinzip	23
7.6.3.2	Das katalytische Sensorprinzip	24
7.6.3.3	Das Infrarot-Sensorprinzip	25
7.7	Kohlendioxid-Messgerät	27
7.8	Sauerstoffmessverfahren	31
7.9	Gasanalyse durch Infrarotabsorption	34
7.10	Viskositätsbestimmung	38
7.10.1	Meßmethoden für newtonscher Fluide	38
7.10.1.1	Kapillarviskosimeter	38
7.10.1.2	Kugelfallviskosimeter	39
7.10.1.3	Viskositätsmessung mittels Auslaufbecher	41
7.11	Eine kleine Exkursion in die Welt der SAE-Klassen, allgemein	43
<b>8</b>	<b>Aktuatorik</b>	<b>3</b>
8.1	Grundlagen	3
8.1.1	Spezifikationsdaten für Aktoren	6
8.1.2	Kv-Wert	8
8.1.3	Kvs- und Kvr-Wert	8
8.1.4	Ventilkennlinien	10
8.1.5	Kavitation und Flashing	14
8.1.6	Der Kavitationskoeffizient	15
8.1.7	Abrasion, Erosion und Vibration	17
8.2	Regelventile	18
8.2.1	Ventilgehäuse und Sitz-/ Kegelgarnituren	20
8.2.2	Drosselkörper	20
8.2.3	Spindelabdichtungen	21
8.3	Drehkegelventil	22
8.4	Gleit-/ Segmentschieber	23
8.5	Regelklappe	26
8.6	Absperrarmaturen	29
8.6.1	Hähne	29
8.6.2	Kugelhahn	30
8.6.3	Schieber	32
8.6.4	Ringkolbenschieber	33
8.7	Schlauchventile	36
8.7.1	Schlauchventil (Fa. Schubert & Salzer)	36
8.7.2	Quetschventil (Fa. Ako)	37
8.8	Antriebe	38
8.9	Pneumatische Antriebe	40
8.9.1	Steuerelemente	40

**Vorlesungsinhalte**  
**AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.**

---

8.9.2	Pneumatischer Schwenkantrieb (Fa. EBRO)	42
8.9.3	Pneumatischer Drehflügelantrieb (Schwenkantrieb)	44
8.9.4	Pneumatischer Stellzylinder (Fa. Norgren)	45
8.10.	Magnetventile	47
8.10.1	Aufbau von Wegeventilen in den Schaltsymbolen	47
8.11	Stellungsregler	53
9.11.1	Düsen-Prallplatten-System	57
8.12	Endlagenrückmeldungen	60
<b>9</b>	<b>Automatisierungskonzepte</b>	<b>2</b>
9.1	Verdrahtungskonzepte	2
9.1.1	Klassische Verdrahtung	4
9.1.1.1	Messtafeleinbaugeräte (Auswahl)	7
9.1.2.1	Konventionelle Verdrahtung auf ein PLS	9
9.1.2.2	Verdrahtung mittels Remote I/O	10
9.1.3	Feldbustechnik	15
9.1.3.1	Profibus PA	17
9.1.3.1.1	Profibus Variante FMS	17
9.1.3.1.2	Profibus Variante DP	19
9.1.3.1.3	Profibus Variante PA	21
9.1.3.2	INTERBUS S	26
9.1.3.3	Foundation Fieldbus	29
9.2	VPS, SPS, SSPS und PLS	40
9.2.1	Verbindungsprogrammierte Steuerungen (VPS)	40
9.2.2	Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS)	43
9.2.3	Sicherheitsgerichtete speicherprogrammierbare Steuerungen (SSPS)	45
9.2.4	Prozessleitsysteme (PLS)	48
<b>10</b>	<b>HART-Kommunikation und Bussysteme</b>	<b>3</b>
10.1	HART-Kommunikation, Modulation in der prakt. Messtechnik	3
10.1.1	Warum zusätzliche Kommunikation	3
10.1.2	Teilnehmeranzahl und Adressierung	6
10.1.2.1	Punkt-zu-Punkt-Verbindung	6
10.1.2.2	HART über Multiplexer	7
10.1.2.3	Multidrop	7
10.1.2.4	FSK-Bus	9
10.1.3	Arbeitsweise	10
10.1.4	OSI-Modellstruktur	12
10.1.5	Betriebsbedingungen	18
10.1.6	Grundbegriffe der Modulation durch Tastung	21
10.2	WirelessHART, drahtlose Kommunikation	23
10.2.1	Netzwerkaufbau	27
10.2.2	Kenndaten	28
10.2.3	Störungen durch Wechselwirkung mit Störsignalen	29
10.2.4	Ausrichtung der Netzwerkteilnehmer	30
10.3	Bussysteme	33
10.3.1	Serielle Kommunikation	33
10.3.1.1	Die RS-232-Schnittstelle	36
10.3.1.2	RS422-Schnittstelle	37
10.3.1.3	RS485-Schnittstelle	38
10.3.2	Bussysteme, Grundlagen	39
10.3.2.1	Zugriffsverfahren	43

**Vorlesungsinhalte**  
**AUT, Feldgeräte u. industrielle Komm.**

---

10.3.2.1.1	Master-Slave-Verfahren	44
10.3.2.1.2	Token-Passing-Verfahren	44
10.3.2.1.3	CSMA-Verfahren	45
10.3.2.1.4	Hybrides-Verfahren	46
10.3.3	Feldbussysteme	47
10.3.3.1	MODBUS	47
10.3.3.2	PROFIBUS DP	48
10.3.3.3	ETHERNET	49
10.3.3.4	CAN	49
10.3.3.5	CANopen	50
<b>11</b>	<b>Verwendung der RFID-Technologie in der Instandhaltung</b>	<b>2</b>
11.1	Grundlagen	2
11.1.1	Verschiedene RFID-Tags /-Transponder	5
11.1.2	RFID Sensor Transponder	9
11.1.3	Sende und Empfangseinheiten	12
11.1.3.1	Stationäre Schreib- / Lesestation der Fa. Pepperl + Fuchs	15
11.1.3.2	Mobile Geräte, Handheld	16
11.2	Architektur von RFID-Systemen	18
11.2.1	Betriebsarten und Datensicherheit	19
11.2.1.1	Betriebsart	19
11.2.1.2	Datensicherheit	20
11.3	Anwendungsbeispiele	21
11.3.1	Allgemeiner Überblick	21
11.3.1.1	Anwendung in der Logistik	24
11.3.2	Einsatz in der Instandhaltung	27
11.3.2.1	Temperaturüberwachung von Schaltanlagen	27
11.3.2.2	Inspektion und Wartung im Bereich der Analysetechnik	31